

机械工业出版社高水平著作出版基金资助项目

浙江省自然科学基金资助项目

罗志增 蒋静坪 著

机器人感觉与多信息融合



机械工业出版社高水平著作出版基金资助项目

浙江省自然科学基金资助项目

机器人感觉与多信息融合

罗志增 蒋静坪 著



机械工业出版社

本书是关于机器人各种感觉传感器及机器人多感觉信息融合方面的专著,大部分内容是作者近10多年来在该领域研究成果的积累与总结,部分内容还是首次发表。

全书共分十一章,第一~六章主要介绍机器人的各种感觉,包括机器人感觉系统,触觉和滑觉传感器,人工皮肤触觉,接近觉传感器,力觉传感器,机器人听觉、视觉的研究历史、现状及工作原理和方法;第七~十章为多信息融合,介绍多传感器信息融合的基本内容,定量及定性多信息融合的方法,粗糙集理论及其在多感觉信息融合中的应用等。本书最后第十一章多感觉智能机器人,以作者所在单位研制的一台智能机器人作为对象,介绍了多感觉智能机器人的组成、工作原理及分析方法。

本书可供从事机器人感觉、多感觉信息融合、人工智能等领域研究的研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机器人感觉与多信息融合/罗志增,蒋静坪著. —北京:机械工业出版社,2002.6

ISBN 7-111-10248-7

I. 机... II. ①罗... ②蒋... III. 机器人—感觉—研究
IV. TP242.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第029314号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:郑丹 版式设计:张世琴 责任校对:张媛

封面设计:姚毅 责任印制:路琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002年6月第1版·第1次印刷

1000mm×1400mm B5·5印张·2插页·190千字

0 001—1 500册

定价:18.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68993821、68326677-2527

封面无防伪标均为盗版

前 言

自 20 世纪 50 年代末诞生第一台工业机器人以来，机器人的发展已取得令人瞩目的成就，它的应用范围遍及机械、电子、冶金、化工、能源、交通、农林、建筑、宇航、海洋、国防、医疗等领域。为人类、家庭服务的个人机器人也方兴未艾。机器人的智能水平、与人类的交互能力迅速提高。机器人在产业、服务领域的应用不仅产生了良好的社会效益及经济效益，而且正越来越大地改变着人类的生活方式。

由机器人的设计、制造及应用组成的机器人学，是一门高度交叉的前沿学科，是机械学、电子学、生物学、人类学、控制理论与控制工程、人工智能、传感技术及计算机等学科和技术相结合的产物。

本书介绍了机器人的感觉、信息处理方法及应用，是一部比较系统的机器人感觉及处理方面的著作。除了讨论机器人感觉的一般原理外，还特别阐述一些新的技术与方法，并有不少篇幅叙述作者与之相关的研究成果。本书第一章至第六章系统地阐述了机器人的各种感觉和工作原理、实现方式、设计要点，许多地方结合具体的例子，深入浅出，简单易懂。第七章至第十章介绍多信息融合算法及其在机器人中的应用，针对智能机器人的感觉信息加工，介绍了适合机器人多感觉信息融合的各种方法，包括基本概念和理论基础、数学模型、推理方法和算法、拓扑结构等，并详细给出信息融合的控制方法及如何与机器人的运动控制有机结合。本书最后的第十一章多感觉智能机器人，以作者所在单位研制的一台智能机器人为对象，介绍了多感觉智能机器人的组成、工作原理及分析方法，是对全书内容的很好总结。

本书的编写和出版，得到了浙江省自然科学基金、机械工业出版社高水平著作出版基金的资助，并得到有关人士的热情帮助。书中部分章节参阅了蔡自兴、张福学、吴广玉、段新生等人的著作与论文，在此一并表示感谢。

本书可供从事机器人感觉、多感觉信息融合、人工智能等领域研究的研究人员参考。

本书由罗志增（第一、二、三、四、五、六、十一章）和蒋静坪（第七、八、九、十章）共同撰写。由于我们业务水平有限，不当和错误之处在所难免，希望读者批评指正。

罗志增 蒋静坪

2002 年 6 月

目 录

前言	
绪论	1
第一章 触觉和滑觉传感器	12
第一节 触觉传感器的一般要求	12
第二节 触觉传感器开关	13
第三节 压阻式阵列触觉传感器	14
第四节 光学式触觉传感器	18
第五节 其他类型的触觉传感器	19
第六节 触觉图像及其处理	21
第七节 机器人专用滑觉传感器	23
小结	24
第二章 人工皮肤触觉	26
第一节 人工皮肤触觉的结构	27
第二节 信号的检出与重构	28
第三节 传感信号的特征提取和感觉输出	31
第四节 滑觉信号的模糊处理	32
第五节 实验结果	34
小结	35
第三章 接近觉传感器	37
第一节 感应式接近觉传感器	37
第二节 电容式接近觉传感器	40
第三节 超声接近觉传感器	41
第四节 光接近觉传感器	42
第五节 红外反射光强法接近觉传感器举例	43
第六节 接近觉、接触觉、滑觉组合传感器	45
第七节 组合传感器的信号处理	46
第八节 由接近觉、接触觉、滑觉组成的三感觉机械手	48

小结	50
第四章 力觉传感器	52
第一节 几种常见的机器人腕力传感器的结构分析	53
第二节 PVDF 腕力传感器的设计与制作	55
第三节 信号的处理、分析与解耦	57
第四节 性能测试	59
小结	61
第五章 机器人听觉	62
第一节 声音信号的特征	63
第二节 特定人的语音识别系统	69
第三节 非特定人的语音识别系统	70
第六章 机器人视觉	74
第一节 视觉系统的硬件组成	74
第二节 数字图像的编码	77
第三节 图像的分离	78
第四节 图像的理解	85
第五节 三维视觉	86
第七章 多传感器信息融合的基本内容	91
第一节 传感器的建模	92
第二节 多传感器信息融合的结构和控制	95
第三节 信息融合的具体方法和拓扑结构	97
第八章 多传感器系统定量信息融合	102
第一节 传感数据的一致性检验	102
第二节 基于参数估计的信息融合方法	108
第九章 多传感器系统定性信息融合	113
第一节 Bayes 方法	113
第二节 Dempster-shafer 证据推理法	116
第三节 模糊集理论	120
第四节 神经网络法	122

第十章 粗糙集理论与信息融合	125
第一节 Rough set 基本概念和理论基础	126
第二节 基于 Rough set 理论的多传感器信息融合	129
小结	133
第十一章 多感觉智能机器人	134
第一节 系统的组成	134
第二节 多传感器组合带来的相互干扰及消除	137
第三节 多感觉机器人信息处理和融合的控制体系	139
第四节 融合方法的具体应用	141
第五节 多感觉智能机器人应用实验系统	145
参考文献	148

绪 论

科学技术的发展，诞生了机器人。社会的进步也提出要求，希望创造出一种能够替人进行各种工作的机器，甚至从事人类不能及的事情。自从 1959 年诞生第一台机器人以来，机器人技术取得了长足的进步和发展，至今已成为一门集机械、电子、计算机、控制、传感器、信号处理等多学科门类为一体的综合性尖端科学。

一、机器人与传感器

生产能替代人劳动的机器一直是人类的梦想，研究机器人，首先从模仿人开始。通过考察人的劳动（与环境交互过程）我们发现，人是通过五官（视觉、听觉、嗅觉、味觉、触觉）接收外界信息的。这些信息通过神经传递给大脑，大脑对这些分散的信息进行加工、综合后发出行为指令，调动肌体（如手足等）执行某些动作。如果希望机器代替人类劳动，则发现大脑可与当今的计算机相当，肌体与机器人的执行机构相当，五官可与机器人的各种外部传感器相当。也就是说，计算机是人类大脑或智力的外延，执行机构是人类四肢的外延，传感器是人类五官的外延。其中，传感器处于连接外界环境与机器人的接口位置，是机器人获取信息的窗口。要使机器人拥有智能，对环境变化做出反应，首先，必须使机器人具有感知环境的能力，用传感器采集环境信息是机器人智能化的第一步；其次，如何采用适当的方法，将多个传感器获取的环境信息加以综合处理，控制机器人进行智能作业，更是机器人智能化的重要体现。所以，传感器及其信息处理系统，相辅相成，构成了机器的智能，为机器人智能作业提供决策依据。

自机器人问世以来，其技术的发展大致经历了以下三个时期：

（1）第一代示教再现型机器人 它不配备任何传感器，一般采用简单的开关控制、示教再现控制和可编程序控制，机器人的作业路径或运动参数都需要示教或编程给定，在工作过程中，它无法感知环境的改变而改善自身的性能、品质。

（2）第二代感觉型机器人 此种机器人配备了简单的内外部传感器，能感知自身运行的速度、位置、姿态等物理量，并以这些信息的反馈构成闭环控制，如配备简易视觉、力觉传感器等简单的外部传感器，因而具有部分适应外部环境的能力。

（3）第三代智能型机器人 目前尚处于研究和发展之中，它具有多种外部传感器组成的感觉系统，可通过对外部环境信息的获取、处理，确切地描述外部环境，自主地完成某一项任务。一般地，它拥有自己的知识库、多信息处理系统，可在结构或半结构化的环境中工作，能根据环境的变化做出对应的决策。但是，我

们还不得不承认,即使是目前世界上智能最高的机器人,它对外部环境变化的适应能力也非常有限,还远远没有达到人们预想的目标。为了解决这一问题,机器人研究领域的学者们一方面开发研究机器人的各种外部传感器,研究多信息处理系统,使其具有更高的性能指标和更宽的应用范围;另一方面,如何将多个传感器得到的信息综合利用,发展多信息处理技术,使机器人能更准确、全面、低成本地获取所处环境的信息。由此,组成了机器人智能技术中两个最为重要的相关领域:机器人的多感觉系统(Robot Sensory System)和多传感信息的集成与融合(Multi-sensor Integration and Fusion)。

二、机器人的感觉系统

机器人的感觉系统通常指的是机器人的外部传感器系统。通过这些传感器,机器人获得其所处环境的有关信息。

研究机器人的感觉首先从研究人的感觉出发,人的各种感觉器官及其功能都是机器人感觉的模仿对象。从目前的研究现状看,有些机器人感觉远不如人的感觉,如机器视觉和图像理解的速度、识别能力等;但也有些机器人传感器,其性能指标超过人的感觉,如机器人的腕力传感器,它不仅能测出小到几克的力的变化,而且能感觉到六个方向的力(三个方向的力和三个方向的力矩),显然,这对人来说是难以做到的。当然,人的感觉机理不是我们简单地用物理传感器能够模仿的,尤其是人的思维、推理方式、综合处理各种感觉信息的能力,更是现有的处理技术难以达到或比拟的。如我们人类观察窗外的景物,看到树枝和叶,很容易辨别出来这是窗外的景物,人还能从树叶是否抖动推知有没有风、什么风向。同样的问题机器视觉则很难断定这到底是窗外的景物,还是墙面的一幅画?由于树的形态千变万化,让机器识别一棵树本身就很困难了,何况从窗中只看到树的部分树枝和叶!尽管人工智能技术有了长足的进步,但技术的发展还远落后于人类的需要。严峻的现实不应成为失望的根源,而是我们继续研究、不断前进的动力。研究机器人的感觉也并非一味地模仿人,更多的是如何满足实际需要,解决问题。如人类需要吃饭,味觉变得相对重要,智能机器人是否也需要味觉?那倒不一定,至多要求推测一下溶液中某化学成分的含量抑或 pH 值之类,这与人类的味觉也有着很大的区别。综合现有机器人的各种感觉及其对应的外部传感器,大致可按图 0-1 表达其组成和划分。

三、多传感器系统与信息融合

单一传感器获得的信息非常有限,它获得的是局部的、片面的环境特征信息。由于传感器还受到自身品质、性能的影响,采集到的信息往往是不完善的,带有较大的不确定性,甚至偶尔是错误的。随着科学技术的发展,新型敏感材料和传感器不断涌现,传感器种类的增多、性能的提高以及精巧的结构都促进了多传感器系统的发展。目前,一个功能较强的智能机器人通常配置有立体视觉、听觉、距

离和接近觉传感器、力/力矩传感器、多功能触觉传感器等。多传感器系统采得的信息将大大增加,而这些信息在时间、空间、可信度、表达方式上不尽相同,侧重点和用途也不同,这对信息的处理和管理工作提出了新的要求。若对各种不同传感器采集的信息进行单独、孤立地加工不仅会导致信息处理工作量的增加,而且割断了各传感器信息间的内在联系,丢失信息有机组合可能蕴含的有关环境特征,从而造成信息资源的浪费。从另一方面看,由于传感器感知的是同一环境下不同(或相同)侧面的有关信息,所以这些信息的相关是必然的,由此,多传感器系统要求采用与之相应的信息综合处理技术,以协调各传感器间的工作。多传感器信息融合的有关理论就是为了更有效地处理多传感器系统的各种信息而提出和发展起来的一个新的研究方向。

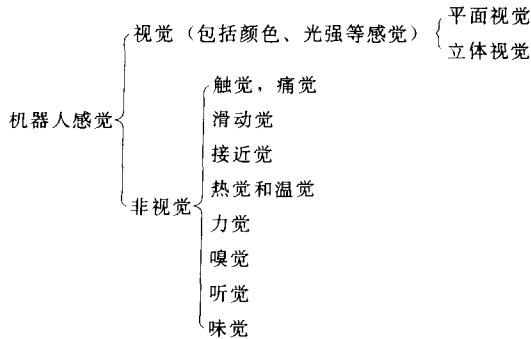


图 0-1 感觉系统的组成和划分

在以往机器人智能领域的研究中,人们把更多的注意力集中到研究和开发机器人的各种外部传感器上。尽管在现有的智能机器人和自主式系统中,大多数使用了多个不同类型的传感器,但并没有把这些传感器作为一个整体加以分析,更像是一个多传感器的拼合系统。虽然在各传感器的信息处理与分析方面开展了大量富有成效的工作,但由于忽视了多传感器系统的研究,无疑对提高各种智能系统的性能带来了不利影响:效率低下而且速度缓慢。

近来,对多传感器系统信息融合的研究与开发,正越来越受到关注。智能系统和自主式系统要在各种不确定的环境中工作,其首要任务是确切知道其所处环境,给出环境模型的描述。使用多种不同的传感器可以获得环境的多种特征,包括局部的、间接的环境知识。环境的统一描述将在这些知识上进行,所以一个高效的具有很强适应能力的多信息融合系统是反映智能机器人和自主式系统智能水平的重要条件之一。如果说机器人的各种感觉传感器是智能系统的硬件,那么多传感器信息融合技术就是智能系统得以高效运行的软件。

概括地说,使用多传感器系统和多信息融合技术将使系统具有如下优势:

- 容错功能 当一个甚至几个传感器出现故障时,系统仍可以利用其他传感器获取环境信息,以维持系统的正常运行。

- **提高精度** 在传感器测量中,不可避免地存在各种噪声,而同时使用描述同一特征的多个信息,可以减小这种由测量不精确所引起的不确定性,显著提高系统的精度。

- **提高完整描述环境的能力** 多种传感器可以描述环境中的多个不同特征,这些互补的特征信息,可以减小对环境模型理解的歧义,提高系统正确决策的能力。

- **提高信息处理的速度** 在同等数量的传感器下,各传感器分别单独处理与多传感器信息融合处理相比,由于多传感器信息融合中使用了并行结构,采用分布式系统并行算法,可显著提高信息处理的速度。

- **降低信息获取的成本** 信息融合提高了信息的利用效率,可以用多个较廉价的传感器获得与昂贵的单一高精度传感器同样甚至更好的性能,因此可大大降低系统的成本。

四、机器人感觉传感器的研究和发展

机器人的感觉传感器种类较多,这里简要介绍部分本文后面涉及的几种传感器的研究和发展情况。

- **视觉** 20 世纪 50 年代后期出现,发展十分迅速,是机器人中最重要的传感器之一。机器视觉从 20 世纪 60 年代开始首先处理积木世界,后来发展到处桌、椅子、台灯等室内景物,进而处理室外的现实世界。20 世纪 70 年代以后,有些实用性的视觉系统出现了,如应用于集成电路生产、精密电子产品装配、饮料罐装场合的检“次”、定位等。另外,随着这门学科的发展,一些先进的思想及处理方法在人工智能、心理学、计算机图形学、图形处理等领域产生,并在机器人视觉系统中得到应用。机器人视觉的作用是从三维环境图像中获得所需的信息并构造出观察对象的明确而有意义的描述。视觉包括三个过程:图像获取、图像处理和图像理解。图像获取通过视觉传感器将三维环境图像转换为电信号;图像处理是指图像到图像的一种变换,如特征提取;图像理解则在处理的基础上给出环境描述。视觉传感器的核心器件是摄像管或 CCD。摄像管是早期产品,CCD 是后发展起来的,目前的 CCD 已能做到自动聚焦。视觉的典型应用领域为自主式智能系统和导航,最新的成果如卡纳基·梅隆大学机器人所 1996 年完成的自动驾驶车横跨美国的试验,时速达 80km/h,全程自动驾驶率 98%。作为一种安全措施,在本世纪初,有关产品也许会出现在市场上,但总的来说,对于机器人视觉的各种技术而言,图像处理技术已相对发达,而基于图像的理解技术还很落后,这与人类恰好相反,人类理解景物迅速而正确,机器视觉则需要经过大量的运算,即使利用现代最先进的智能技术也只能识别一些结构化环境下简单的目标。再有,当前视觉的实时性也是一个重要的问题,这些问题在新型电脑(如神经计算机、光脑)等出现后也许会得到较好解决。

• **力觉** 机器人力传感器就安装部位来讲,可分为关节力传感器和腕力传感器。关节力传感器是安装在机器人的关节部位,如装于手指关节的握力传感器;而腕力传感器是安装在机器人手爪与手臂的连接处。前者结构比较简单,一般得到的力信息也相对较少,且随机器人结构、尺寸不同,相应的传感器形状也随之变化;而后者虽然结构较复杂,但它获得的力信息较多(如六维腕力传感器),并对不同类型的机器人能实现通用化,此处主要介绍腕力传感器。国际上对腕力传感器的研究是20世纪70年代初开始的,主要研究单位有美国的DRAPER实验室、SRI研究所、JPL实验室、IBM公司和日本的日立公司、东京大学等单位。如日立公司的LSA系列和LOAD公司的F/T系列产品已成功地装在机器人手腕上,可完成精密的装配作业。腕力传感器从外形结构看,目前基本为圆柱形弹性梁架结构;从输出形式看可分为直接输出型和间接输出型,前者直接输出各向力/力矩信息,后者则要通过解耦运算。国内研制过机器人腕力传感器的单位有中国科学院沈阳自动化研究所、中国纺织大学、中国科学院合肥智能机械研究所等单位,以中国科学院合肥智能机械研究所的研究较为成功且已形成产品。

• **触觉、滑觉、热觉等** 广义地说,触觉应包含接触觉、接触面压力分布、滑动觉、热感觉等,但由于在物理传感器的实现过程中不可能完全模仿人的触觉,所以被分成接触觉、阵列触觉、滑觉、热觉等机器人感觉传感器。近来,已经有将几种感觉组合在一起的仿人皮肤触觉的诞生,本书第二章将详细论述作者在这方面的研究成果。机器人触觉的重要性是不言而喻的,作为视觉的补充,它能感知目标物体的表面性能和物理特性:柔软性、硬度、弹性、粗糙度、导热性等。例如:视觉能观测到放在桌上的一个袋子,但却无法获知袋子里装的是何物体,机器人触觉则可通过对柔软袋子的触摸去推知袋子中目标物的大致形状。机器人触觉研究自20世纪80年代初出现后受到广泛重视,到20世纪90年代初已取得了大量的成果。早期的触觉由微动开关、金属触须等实现,后来出现了各种原理的触觉传感器:压阻式、压电式、光电式、电容式、电磁式等。Howard, R. 在他的综述性文章“A Survey of Robot Tactile Sensing Technology”中对触觉传感器的功能进行了说明,并对实用化的触觉传感器应具有的性能指标提了如下参考意见:

- 1) 传感器应有好的顺应性并耐磨。
- 2) 空间分辨率 $1 \sim 2 \text{ mm}$ 。
- 3) $50 \sim 200$ 个触元组成。
- 4) 力灵敏度优于 $0.01 \sim 0.05 \text{ N}$ 。
- 5) 动态范围 $1000:1$ 。
- 6) 传感器稳定性、重复性好,无迟滞。
- 7) 单值响应最好线性。

8) 100Hz 以上的频响。

但事实上,目前的触觉传感器无法达到所有上述性能指标要求,尤其是1)、6)的要求,所研制的传感器强固性较差,基本上还停留在实验室阶段。

机器人滑觉信号的获得有两个途径:一种是通过触觉信号的处理,即从触觉图像的动态变化得到目标物的滑移方向、滑移速度及滑移距离,或对触觉信号的特征分析得到物体滑动时才能感知的特征,如物体的表面粗糙度;另一种是研制专门的滑动觉传感器,鼠标的工作原理就是一个典型的滑动觉传感器的工作方式,它可感知两个方向的滑动,并得到实际的滑移距离。显然,专门的滑动觉传感器会在具体实用化方面受到限制,因为机器人手爪的安装空间是有限的,各种小巧的多感觉功能复合的传感器将更受欢迎。

机器人使用热觉传感器的目的是手爪抓握目标物时推测该物体的导热性能,进一步可区分其可能的材质属性,犹如人抓握物体时有冷热感觉一样。热觉传感器的研究自20世纪80年代末起受到关注,通常的结构形式是将传感器加热恒温至某一温度(如50℃),然后用温度传感器测量传感器接触目标物体后的温度变化,根据温度变化推算物体导热情况。基于与滑觉分析中同样的原因,能将触、滑、热等多种感觉组合在一起的复合传感器的研究,如人工皮肤触觉研究,在将来的发展中将更具潜力。

• **接近觉** 研究接近觉的目的是使机器人在移动或操作过程中获知目标(障碍)物的接近,移动机器人可实现避障,操作机器人可避免手爪对目标物由于接近速度过快造成的冲击。前者要求测量的接近距离较大,后者则相对较小。本书对接近觉的研究主要基于后者,它和接触觉、滑觉等组成的感觉系统可对各种不同尺寸、重量的目标物实现自适应抓取。

按实现的原理接近觉可分为激光、超声波、红外等几种,从声波或光波发射信号碰到目标物体后反射的信号来推知传感器与目标物体间的距离。由于接近觉是指机器人接近目标物时的感觉,并没有具体的量化指标,故与一般的测距装置比,其精度要求并不高。目前常用的是超声波接近觉和红外接近觉。

五、多信息融合技术的发展

信息融合一词是20世纪70年代初由美国最早提出来的。近来,随着计算机技术、通信技术的发展,特别是军事上的迫切要求,该技术引起了世界范围内的普遍关注,在美、英、日、德等国已开发出了一些实用的系统,其某些成果在1991年的海湾战争中得到了实践验证,取得了较理想的结果。

20世纪70年代初,在军事领域的指挥、控制、通信和情报服务(C³I系统)中率先使用多个(种)传感器来收集战场信息,C³I系统中信息的采集、假设的提出以及决策的生成就是多信息融合技术应用的典型例子。同时,20世纪70年代到80年代迅猛发展的工业机器人及其在汽车工业、电子工业装配等结构化环境成功应

用且接近饱和之后,在 80 年代初,机器人学界便提出向非结构化环境进军,以求拓展市场,并开始研究自主车、建筑机器人、消防机器人、水下机器人、火山探险机器人、空间机器人等。开发这些在非结构化环境工作的机器人,其核心的关键技术之一是多感觉传感器系统及多信息融合。

20 世纪 80 年代初,多传感器信息融合的研究受到更多学者的注意,相应的理论和技术也在孕育之中。1984 年美国成立了数据融合专家组 (Data Fusion Subpanel)。1987 年 Kluwer Academic Publishers 先后出版了牛津大学 Durrant-Whyte 所著的 *Integration, Coordination and Control of Multisensor Robot Systems* 和哥伦比亚大学 Allen 所著的 *Robotic Object Recognition Using Vision and Touch*,这是机器人领域多传感器信息融合的开山之作,被后来的研究者广泛引用。1988 年 *Int. Jour. of Robotics Research* 率先推出 *Sensor Data Fusion* 专辑。同年,国际摄影与光学仪器工程师学会 SPIE 开始连续主持召开有关信息融合的学术会议。在机器人界颇有影响的 IEEE 主办的学术会议 “Robotics & Automation” 从 1986 年开始均有专门关于信息融合的专题。1989 年 9 月,美籍华人 Ren C. Luo 在 *IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics* 上发表了著名的综述性文章 *Multisensor Integration and Fusion in Intelligent Systems*,总结了 213 篇有关文献,长达 30 页,是对此以前这方面工作的最好概括,从此这一领域的研究变得十分活跃。1994 年 10 月在美国内华达州拉斯维加斯召开了 *IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems*,这是多传感器信息融合技术学术界的一次盛会,标志着作为一个新兴学科,多传感器信息融合技术已得到国际权威学术界的承认。

在学术界繁荣表面的背后,各国政府及机构对多传感器信息融合技术研究的积极资助是该领域得以快速发展的重要原因之一。从 1988 年前后开始,由于受应用领域特别是军事领域自动化和智能化要求的驱动,机器人、自主车与无人驾驶飞机等智能系统研究工作的投资不断增加。首先是美国国防高级研究计划局 DAPRA 资助了一系列自主车辆导航和自动图像识别系统的研究;之后美国、前苏联、日本共同进行的“脑神经研究中心”等一系列计划,把多传感器信息融合的研究又推到了一个新的高度。为了迎接来自美国和日本的挑战,欧洲共同体各国也从 1987 年开始了为期五年的 SKIDS (Signal and knowledge Integration with Decisional Control for Multisensory System) 计划,其主要目标是研究多传感器信息融合的通用结构、多传感器系统和融合设计建模。

我国在多传感器信息融合领域的研究已经起步,在军事决策、特种机器人等专门问题上开展理论和应用实验研究,列入了 863 计划。1997 年的国家自然科学基金和目前已经开始实施的 973 计划将多传感器融合技术作为鼓励研究领域重点推出。目前在这一领域开展研究工作的主要为高等学校和少数研究机构。

六、多传感信息融合系统的应用、智能机器人

多传感器信息融合的应用土壤是各种实用的多传感器系统,融合带来的多种优点,使之在工业、国防等各个领域得到了广泛的应用,这里简要介绍其在机器人方面的应用。

多感觉传感器系统与机器人相结合,形成感觉机器人和智能机器人。感觉机器人与智能机器人没有十分明确的界限,一般认为感觉机器人尽管已拥有一定的感觉,但只有低级的智能,无复杂的信息处理系统,只能在结构化的环境中从事简单的工作。智能机器人是这样一类机器人:机器人本身能认识工作环境、工作对象及其状态,它能根据人给予的指令和“自身”认识外界的结果来独立地决定工作方法,利用操作机构和移动机构实现任务目标,并能适应工作环境的变化。多感觉传感器、多信息融合系统与传统概念的机器人有机结合,构成了智能机器人。

智能机器人即所谓的“第三代机器人”,它与工业机器人是两种可以同时并存的自动机械,但它的研究目标在于从工程上模拟人(或其他生物体)的复杂动作及其相应的智能行为,并获得综合的机器实现。因此,智能机器人是工业机器人从无智能发展到有智能、从低智能水平发展到高度智能化的产物,它更接近于人们事先对于“机器人”的理想要求。

智能机器人应该具备四种机能:运动机能——施加于外部环境的相当于人的手、脚的动作机能;感知机能——获取外部环境信息以便进行自我行动监视的机能;思维机能——求解问题的认识、推理、判断机能;人一机通信机能——理解指示命令、输出内部状态,与人进行信息交换的机能。

由此可见,智能机器人的“智能”特征就在于它具有与外部世界——对象、环境和人相协调的工作机能。从控制方式看,智能机器人不同于工业机器人的“示教—再现”以及操纵机器人的“操纵”,而是一种“认知—适应”的方式。

下面介绍多传感器信息融合系统在机器人方面的几个应用。

● **移动机器人和自主车辆** 图 0-2 所示是移动机器人多传感器系统的应用示意图。视觉、力觉、触觉等外部传感器和机器人各关节的内部传感器信息融合使用,可使机器人完成如景物辨别、定位、避障、目标物探测等重要功能,并通过与环境模型的匹配完成路径规划、作业任务。机器人还可以通过不断修正环境模型而具有一定的学习功能,最后由一定控制方法向执行机构送出适当的指令,这样一个移动机器人具有较强的智能。具体的例子如 Hilare 移动机器人,它将触觉、听觉、视觉、激光测距等传感器结合起来,组成一个多感觉系统,使之能在未知环境下作业。不同传感器产生的信息,经过集成提供已知物体的位置和相对于机器人的定位,根据物体的特征和与机器人的距离,选择恰当的冗余传感器测量物体,每个传感器的不确定性建模为高斯分布。Stanford 移动机器人则将触觉、立体视觉和超波传感器用于非结构化人为环境中的机器人导航,二维环境模型采用分

层表示,最低层环境特征直接来自传感器的测量数据,高层为抽象的符号表示,来自多信息融合的结果,卡尔曼滤波用于机器人运动时的动态信息融合。另外,使用多传感器的自治系统的典型例子还有 Carnegie-Mellon 大学机器人所研制的自动驾驶汽车、MIT 开发的昆虫式小型爬行机器人等。

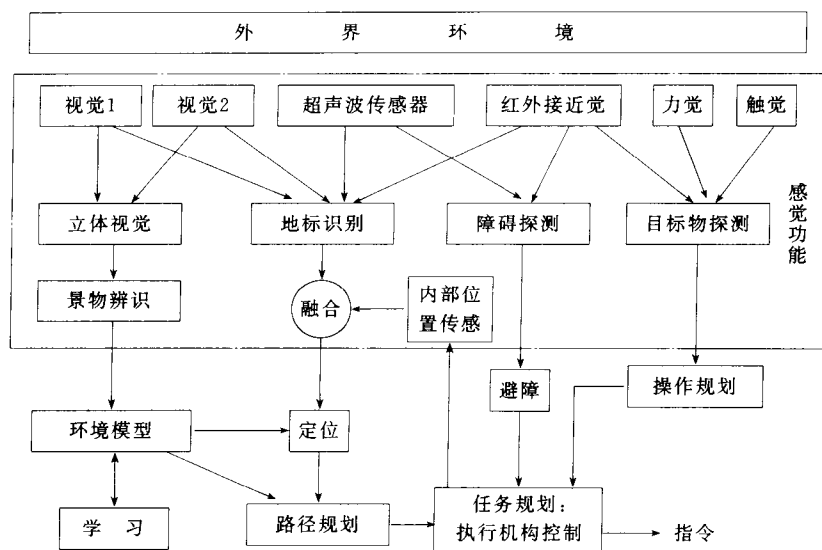


图 0-2 多传感器在移动机器人中的应用

• **工业领域** 多传感器系统在工业领域应用最多的是装配机器人。由于工业机器人一般均在结构化的环境中工作,工作环境的大部分特征是已知的,所以多传感器信息融合在该领域的应用比移动机器人要简单,现已有一些较为成熟的应用例子,表 0-1 列举了部分具有多传感器的工业机器人的应用情况。

表 0-1 多传感器系统和信息融合在工业机器人中的应用

工业机器人的工作场合	使用的传感器类型	研制者或机构	多传感器系统所完成的功能
电子产品装配	三维视觉+力传感器	Hitachi 公司	抓取随机放置的半导体器件,并将其安装到印制板上
机械产品装配	视觉+超声波+触觉+力/力矩传感器	Groen 等人	将三个不同的部件装到热水器上
包 装	视觉+力觉传感器	Smith 和 Nitani 等人	将随机送来的商标贴到车上适当的位置
加工制造业	视觉+激光扫描测距	Kremers 等人	引导机器人手臂完成随机接缝的电弧焊
产品检验	视觉+触觉	Georgia 理工学院	验明工件的一致性

七、本书内容安排

从前面的讨论可以发现,机器人的智能化离不开各种外部传感器,结构精巧、有多种感觉功能的复合传感器使智能机械手具有人手的一些功能,完成诸如自适应抓取、材料物性判断和力引导精密装配等。多传感器系统的使用需要性能优良、运行效率高的多信息融合系统与之配套,从而使机器人不光具有感觉,还拥有比感觉重要得多的智能,即机器人有了分析、判断、推理、决策的能力。本书收录了部分近几年来相关领域的最新科研成果,许多内容则是作者近几年来这方面研究工作的总结,包括机器人的多种感觉传感器(接近觉、触觉、滑觉三感觉组合传感器、PVDF 力觉、热觉传感器等),三感觉组合及其自适应智能抓取系统,针对目标分类(识别)的多感觉信息融合,以及具有多种感觉的智能机器人系统等。本书具体内容安排如下:

第一章触觉和滑觉传感器。给出了机器人触觉的一般要求,分别介绍了开关式、压阻式、光学式、压电式等几种机器人阵列触觉传感器的工作原理,触觉信号检出(扫描)及硬件处理电路,触觉信号的处理。简要介绍了几种滑觉传感器。

第二章人工皮肤触觉。介绍当今机器人触觉的最新进展,人类触觉特点与仿生触觉的传感器实现,人工皮肤触觉的结构,传感器模型,信号检出、特征提取,热觉传感器的设计、数学模型,热觉信号特征值算法的改进,滑觉信号的处理、实验等。

第三章接近觉传感器。介绍工程触须、反射光式接近觉传感器、超声波接近觉传感器。由接近觉、接触觉和滑觉组成的三感觉组合传感器及自适应智能抓取系统。

第四章力觉传感器。介绍机器人中使用的各种力传感器,腕力传感器的结构,应变片式腕力传感器,压电式腕力传感器,信号处理,输出信号到三维力矢量的解耦,给出了传感器的性能测试数据。

第五章机器人听觉。语音识别系统简介,机器人听觉系统的构成,声音的信号特征,特定人的语音识别系统和非特定人的语音识别系统。

第六章机器人视觉。介绍机器人视觉系统的构成,图像的获取,各种图像处理技术。主要讲解图像的编码,图像的分离,图像理解和识别技术,机器人三维视觉。

第七章多传感器信息融合的基本内容。包括传感信息的分类、传感器的建模、信息融合的控制结构、信息融合方法和拓扑结构等。

第八章多传感器系统定量信息融合。给出了定量信息融合的应用对象、步骤,定量信息融合中传感数据的一致性检验,最后讨论了各种基于参数估计的定量信息融合方法。

第九章多传感器系统定性信息融合。对多传感器系统定性信息融合的多种方